复合有机酸钙对肉鸡生长性能、胫骨发育及血清指标的影响

何俊娜　郭　阳　陈娜娜　刘　兵　熊平文　余东游*

（浙江大学动物科学学院，农业部华东动物营养与饲料重点实验室，杭州 310058）

摘　要：本文旨在研究饲粮中添加复合有机酸钙对肉鸡生长性能、胫骨发育及血清指标的影响，评估复合有机酸钙对肉鸡的饲用效果。试验选取 900 只体重相近的 1 日龄健康科宝–500（Cobb–500）肉公鸡，随机分为 3 个组，每组 6 个重复，每个重复 50 只鸡。对照组饲喂玉米－豆粕型基础饲粮，试验 1 和 2 组饲喂在基础饲粮中分别添加 0.4%和 0.8%复合有机酸钙（替换部分无机钙源）的试验饲粮，各组钙、磷水平保持一致，试验期 42 d。结果表明：1）与对照组相比，试验 1 和 2 组肉鸡在 1~21 日龄、22~42 日龄和 1~42 日龄的平均日增重（ADG）显著提高（*P*<0.05），料重比（F/G）显著降低（*P*<0.05）。2）与对照组相比，21 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的胫骨钙含量显著提高（*P*<0.05）；42 日龄时，试验 1 和 2 组的胫骨长度和钙含量显著提高（*P*<0.05），且试验 1 组的胫骨灰分含量显著高于对照组和试验 2 组（*P*<0.05）。3）42 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的血清谷草转氨酶（GOT）活性显著低于对照组（*P*<0.05），但试验 1 组的血清 GOT 活性与试验 2 组差异不显著（*P*>0.05）。饲粮中添加复合有机酸钙对 21 和 42 日龄肉鸡的血清甲状旁腺激素（PTH）、降钙素（CT）、钙、磷含量以及谷丙转氨酶（GPT）、碱性磷酸酶（AKP）活性均无显著影响（*P*>0.05）。4）饲粮中添加复合有机酸钙对 21 和 42 日龄肉鸡的血清总抗氧化能力（T-AOC）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性、丙二醛（MDA）含量均无显著影响（*P*>0.05）。由此可见，饲粮中添加复合有机酸钙可改善肉鸡的生长性能，促进胫骨发育，且以添加 0.4%的复合有机酸钙饲用效果较好。

关键词：复合有机酸钙；肉鸡；生长性能；胫骨发育；抗氧化能力

中图分类号：S831；S816.7

收稿日期：2016-07-04

基金项目：东南沿海地区大学农业科技服务技术集成与示范（2013BAD20B02）

作者简介：何俊娜（1991–），女，河南开封人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料添加剂。E-mail：hejn21@163.com

*通信作者：余东游，研究员，硕士生导师，E-mail：dyyu@zju.edu.cn

饲粮中常用的钙源为石粉（主要成分 $CaCO_3$），钙含量为 35%左右，但重金属含量偏高[1-2]、适口性差，且有较强的系酸力特性，会破坏胃内的酸性环境[3]，降低动物对营养物质的消化吸收。有机酸钙如甲酸钙、乳酸钙、柠檬酸钙等不仅是优质的钙源，还可以提供有机酸，且对胃肠道刺激性小[4-5]，安全性高，在养殖业中可作为饲料添加剂用于畜禽等动物的钙质补充。

甲酸钙、柠檬酸钙和乳酸钙等已被列入农业部 2045 号公告《允许使用的饲料添加剂品种目录》[6]，具有较为广阔的应用前景。但有关复合有机酸钙在肉鸡饲粮中的使用尚处于探索阶段，关于其添加效果也有待进一步研究。本试验以肉鸡为研究对象，探讨复合有机酸钙对肉鸡生长性能、胫骨发育及血清指标的影响，旨在为复合有机酸钙在畜禽生产中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用复合有机酸钙由杭州果谷生物科技有限公司提供，有效成分为甲酸钙、柠檬酸钙和乳酸钙，总钙含量≥26%。

1.2 试验设计

采用单因子随机试验设计，选取体重相近的 1 日龄科宝–500（Cobb–500）肉公鸡 900 只，随机分为 3 个组，每组 6 个重复，每个重复 50 只鸡。对照组饲喂玉米－豆粕型基础饲粮，试验 1 组和 2 组饲喂在基础饲粮中分别添加 0.4%和 0.8%复合有机酸钙（替换部分无机钙源）的试验饲粮，各组钙、磷水平保持一致，试验期 42 d。

试验选用玉米－豆粕型基础饲粮，参照 NRC（1994）《鸡的营养需要》和 NY/T 33—2004《鸡饲养标准》，分 1~21 日龄和 22~42 日龄 2 个阶段配制成粉料，试验饲粮组成及营养水平见表 1 和表 2。

表 1　1~21 日龄试验饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets at 1 to 21 days of age (as fed-basis)　　%

项目 Items	复合有机酸钙水平 Compound organic acid calcium level/%

	0	0.4	0.8
原料 Ingredients			
玉米 Corn	60.00	60.00	60.00
豆粕 Soybean meal	28.50	28.50	28.50
鱼粉 Fish meal	2.00	2.00	2.00
次粉 Wheat middlings	4.50	4.50	4.50
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.15	0.15	0.15
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.20	1.20	1.20
石粉 Limestone	1.20	0.90	0.60
有机酸钙 Organic acid calcium		0.40	0.80
沸石粉 Zeolite power	1.15	1.05	0.95
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.73	11.73	11.73
粗蛋白质 CP	18.86	18.86	18.86
赖氨酸 Lys	1.21	1.21	1.21
蛋氨酸 Met	0.57	0.57	0.57
钙 Ca	0.98	1.00	0.98
总磷 TP	0.70	0.70	0.70
有效磷 AP	0.46	0.46	0.46

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 25 000 IU，VD 5 000 IU，VE 12.5 IU，VK 1.25 mg，VB_1 1.0 mg，VB_2 8 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 15 μg，叶酸 folic acid 250 μg，烟酸 nicotinic acid 17.5 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12.5 mg，Fe 80 mg，Cu 10 mg，Mn 80 mg，Se 0.15 mg，I 0.35 mg，植酸酶 phytase 500 U。

2)钙为实测值，其余均为计算值。Ca was a measured value, while the others were calculated values. 表 2 同。The same as table 2.

表 2　22~42 日龄试验饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets at 22 to 42 days of age (as fed-basis)　　%

项目 Items	复合有机酸钙水平 Compound organic acid calcium level/%		
	0	0.4	0.8
原料 Ingredients			
玉米 Corn	66.00	66.00	66.00
豆粕 Soybean meal	24.00	24.00	24.00
鱼粉 Fish meal	1.00	1.00	1.00
次粉 Wheat middlings	4.00	4.00	4.00
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00	1.00	1.00
石粉 Limestone	1.20	0.90	0.60
有机酸钙 Organic acid calcium		0.40	0.80
沸石粉 Zeolite power	1.40	1.30	1.20
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.91	11.91	11.91
粗蛋白质 CP	16.69	16.69	16.69
赖氨酸 Lys	1.08	1.08	1.08
蛋氨酸 Met	0.45	0.45	0.45

钙 Ca	0.87	0.87	0.86
总磷 TP	0.61	0.61	0.61
有效磷 AP	0.39	0.39	0.39

1.3 饲养管理

饲养试验在农业部华东动物营养与饲料重点实验室研究试验基地进行，试验季节为夏季，所有试验鸡均在同一栋鸡舍内。采用地面平养的饲养方式，饲养期间自由采食和饮水，连续光照，自然通风，定期打扫鸡舍，保持清洁卫生。鸡只免疫按鸡场常规程序进行。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能

分别于 21 和 42 日龄 08:00，以重复为单位空腹称重；记录每个重复的喂料量和剩料量；计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2 胫骨指标

分别于 21 和 42 日龄时，每个重复选取 1 只体重接近平均体重的健康肉鸡，屠宰后取左、右两侧胫骨。去除表面筋膜组织，称重，游标卡尺测量胫骨长度，嫩度仪(TMS–Pro 型质构仪)测定胫骨强度。将胫骨经干燥脱脂粉碎后，测定胫骨的灰分、钙和磷含量。

1.4.3 血清指标

分别于 21 和 42 日龄时，每个重复选取 1 只体重接近平均体重的健康肉鸡，屠宰取颈静脉血液，于 37 ℃水浴静置，4 ℃ 下 3 000 r/min 离心 15 min，取上清用于测定血清生化及抗氧化指标。采用甲基百里香酚蓝(MTB)比色法测定血清钙含量，采用磷钼酸法测定血清磷含量，采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定血清甲状旁腺激素(parathyroid hormone，PTH)和降钙素(calcitonin，CT)含量，采用赖氏法测定血清谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)活性，采用 4-氨基安替吡啉比色法测定血清碱性磷酸酶（AKP）活性，采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定血清丙二醛(MDA)含量，采用比色法测定血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性和总抗氧化能力(T-AOC)，采用羟胺法测定血清总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性。试剂盒均购自南京建成生物工程研究所，严格按照说明书进行操作。

1.5 数据统计分析

数据经 Excel 2003 初步整理后，用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way

ANOVA)，并对结果进行 Duncan 氏法多重比较检验，*P*<0.05 为差异显著。

2 结　果

2.1 复合有机酸钙对肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知，与对照组相比，1～21 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的 ADG 分别提高了 7.22% 和 6.13%（*P*<0.05），F/G 分别降低了 3.47%和 4.05%（*P*<0.05）；22～42 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的 ADG 分别提高了 7.84%和 7.86%（*P*<0.05），F/G 分别降低了 5.24%和 4.76%（*P*<0.05）；在肉鸡生长全期（1～42 日龄），试验 1 和 2 组肉鸡的 ADG 分别提高了 7.60% 和 7.23%（*P*<0.05），F/G 分别降低了 5.08%和 4.57%（*P*<0.05）。饲粮中添加复合有机酸钙对试验各期肉鸡的 ADFI 均无显著影响（*P*>0.05）。

表 3　复合有机酸钙对肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of compound organic acid calcium on growth performance of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	标准误 SE	*P* 值 *P*-value
体重 Body weight/g					
1 日龄 1 days of age	45.80	45.19	45.40	0.35	0.52
21 日龄 21 days of age	563.45^{a}	600.15^{b}	594.71^{b}	9.91	0.04
42 日龄 42 days of age	1498.89^{a}	1608.86^{b}	1603.45^{b}	35.31	0.01
1~21 日龄 1 to 21 days of age					
平均日采食量 ADFI/g	42.68	44.02	43.43	0.74	0.50
平均日增重 ADG/g	24.65^{a}	26.43^{b}	26.16^{b}	0.48	0.04
料重比 F/G	1.73^{b}	1.67^{a}	1.66^{a}	0.01	0.01
22~42 日龄 22 to 42 days of age					
平均日采食量 ADFI/g	93.43	95.59	95.98	1.62	0.55
平均日增重 ADG/g	44.54^{a}	48.03^{b}	48.04^{b}	1.51	0.02
料重比 F/G	2.10^{b}	1.99^{a}	2.00^{a}	0.04	0.01
1~42 日龄 1 to 42 days of age					
平均日采食量 ADFI/g	67.99	69.77	69.71	0.95	0.37

平均日增重 ADG/g	34.60^{a}	37.23^{b}	37.10^{b}	0.85	0.01
料重比 F/G	1.97^{b}	1.87^{a}	1.88^{a}	0.03	0.02

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 复合有机酸钙对肉鸡胫骨指标的影响

由表 4 可知，与对照组相比，21 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的胫骨钙含量分别提高了 8.44%和 7.06%（P<0.05）；42 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的胫骨长度分别提高了 10.05%和 8.74%（P<0.05），钙含量分别提高了 8.20%和 1.86%（P<0.05）。42 日龄时，试验 1 组肉鸡的胫骨灰分和钙含量显著高于试验 2 组（P<0.05），试验 1 组胫骨磷含量较对照组和试验 2 组分别提高了 3.73%和 3.03%（P>0.05）。

表 4 复合有机酸钙对肉鸡胫骨指标的影响

Table 4 Effects of compound organic acid calcium on tibia indices of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	标准误 SE	P 值 P-value
21 日龄 21 days of age					
鲜重 Fresh weight/g	5.68	5.53	5.75	0.21	0.79
长度 Length/cm	6.83	6.75	6.78	0.81	0.81
强度 Intensity/N	75.88	94.68	89.02	8.82	0.35
灰分 Ash/%	13.12	13.03	12.91	0.08	0.19
钙 Ca/%	6.52^{a}	7.07^{b}	6.98^{b}	0.19	0.01
磷 P/%	3.06	2.92	3.05	0.06	0.11
42 日龄 42 days of age					
鲜重 Fresh weight/g	15.7	16.88	16.28	0.62	0.47

长度 Length/cm	9.15^{a}	10.07^{b}	9.95^{b}	0.28	0.01
强度 Intensity/N	261.35	303.47	248.41	20.65	0.14
灰分 Ash/%	12.71^{a}	13.07^{b}	12.85^{a}	0.10	0.02
钙 Ca/%	6.46^{a}	6.99^{c}	6.58^{b}	0.14	<0.01
磷 P/%	2.95	3.06	2.97	0.04	0.08

2.3 复合有机酸钙对肉鸡血清生化指标的影响

由表 5 可知，饲粮中添加复合有机酸钙对 21 和 42 日龄肉鸡的血清 PTH、CT、钙和磷含量以及 GPT 和 AKP 活性均无显著影响（$P>0.05$）。与对照组相比，42 日龄时，试验 1 和 2 组肉鸡的血清 GOT 活性分别降低了 46.32%和 45.61%（$P<0.05$）。

表 5 复合有机酸钙对肉鸡血清生化指标的影响

Table 5 Effects of compound organic acid calcium on biochemical indices in serum of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	标准误 SE	*P* 值 *P*-value
21 日龄 21 days of age					
甲状旁腺激素 PTH/(pg/mL)	43.77	42.91	42.59	1.49	0.88
降钙素 CT/(pg/mL)	5.60	5.62	5.77	0.67	0.74
钙 Ca/(mmol/L)	1.32	1.27	1.32	0.04	0.58
磷 P/(mmol/L)	1.55	1.60	1.52	1.04	0.87
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	25.37	25.25	25.92	1.31	0.94
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	2.42	2.03	1.47	0.11	0.07
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	220.24	174.02	210.71	28.32	0.51
42 日龄 42 days of age					
甲状旁腺激素 PTH/(pg/mL)	72.39	80.77	75.12	3.33	0.20
降钙素 CT/(pg/mL)	6.27	6.24	6.00	0.24	1.49
钙 Ca/(mmol/L)	1.44	1.41	1.45	0.02	0.51

磷 P/(mmol/L)	1.80	1.82	1.87	0.06	0.77
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	21.99	19.69	18.31	2.36	0.57
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	2.85^{b}	1.53^{a}	1.55^{a}	0.47	0.04
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	179.47	115.59	151.36	27.00	0.27

2.4 复合有机酸钙对肉鸡血清抗氧化指标的影响

由表 6 可知，与对照组相比，饲粮中添加复合有机酸钙对 21 和 42 日龄肉鸡的血清 T-AOC、T-SOD 和 GSH-Px 活性以及 MDA 含量均无显著影响（*P*>0.05）。

表 6 复合有机酸钙对肉鸡血清抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of compound organic acid calcium on antioxidant indices in serum of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	标准误 SE	*P* 值 *P*-value
21 日龄 21 days of age					
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	10.70	11.92	12.27	1.56	0.78
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	101.72	108.49	104.03	3.98	0.54
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	2639.17	2680.74	2796.75	113.57	0.66
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.60	3.29	3.37	0.20	0.56
42 日龄 42 days of age					
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	10.04	10.15	10.29	0.52	0.95
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	96.55	103.65	102.15	2.88	0.19
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	2682.82	2699.58	2885.36	99.21	0.31
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.08	2.99	3.03	0.23	0.97

3 讨 论

3.1 复合有机酸钙对肉鸡生长性能的影响

复合有机酸钙具有双重营养功能，在提供有机酸的同时也提供了优质的钙源。肉鸡饲粮中添加酸化剂或有机酸盐，有利于改善饲粮的适口性，进入机体后能参与机体代谢反应，加

速机体对营养物质的吸收[7-9]，进而促进肉鸡增重，降低 F/G，改善肉鸡的生长性能。Chowdhury 等[10]和 Adil 等[11]报道有机酸能显著提高肉鸡的日增重和饲料转化率。刘娇等[12]报道在肉鸡饲粮中分别添加 0.375%、0.500%和 0.625%的有机酸可以不同程度地提高肉鸡体重，且以添加量为 0.500%时效果最佳。本试验结果表明，饲粮中添加 0.4%和 0.8%的复合有机酸钙均显著提高了肉鸡的 ADG 和降低了 F/G，与上述报道结果相似。复合有机酸钙对动物的促生长作用还与其生物特性密切相关，有机酸钙具有很高的生物学吸收特性，其中柠檬酸钙的吸收率是无机钙的 2.6 倍[5,13]，这对肉鸡增重也有良好的促进作用。

本试验饲粮中添加 0.4%或 0.8%复合有机酸钙对肉鸡的 ADFI 无显著影响，与 Sultan 等[14]和 Gunal 等[15]的研究报道相一致。而 Chowdhury 等[10]和 Haque 等[16]研究表明，饲粮中添加有机酸可提高肉鸡的采食量，也有研究发现饲粮中添加有机酸反而降低了肉鸡的采食量[9,17]，与本试验结果存在差异，这可能与有机酸的种类、添加量、饲养环境及饲养方式不同有关[14,16,18]。

3.2　复合有机酸钙对肉鸡胫骨发育的影响

Chowdhury 等[10]、Snow 等[19]和 Liem 等[20]研究显示，饲粮中添加有机酸可显著提高肉鸡的胫骨灰分含量。Brenes 等[21]研究也表明，饲粮中添加柠檬酸能提高肉鸡的胫骨灰分、钙和磷含量，提高矿物质的利用率。可见，有机酸的添加可提高矿物质的利用率，改善肉鸡的胫骨发育，这可能是因为矿物质与有机酸结合后更利于其在机体的吸收。本试验中饲粮添加复合有机酸钙显著影响了肉鸡胫骨长度以及钙和灰分含量，其对胫骨的促进效果与以上报道相似。可溶性钙（通常以 Ca^{2+}形式存在）是动物有效吸收的主要形式，有研究报道认为有机酸钙的溶解吸收率高，能促进骨骼的生长发育，提高骨组织的钙含量，是一种良好的钙营养强化剂[5,22]。本试验中使用的钙源为甲酸钙、柠檬酸钙和乳酸钙按一定配比合成的复合有机酸钙，其在提供有机酸的同时也提供了优质的钙源（Ca^{2+}）。目前国内有关复合有机酸钙在肉鸡上的应用鲜见报道，关于其促进胫骨生长的作用机理还有待深入研究。

3.3　复合有机酸钙对肉鸡血清指标的影响

GOT 和 GPT 是动物体内的 2 种重要转氨酶，在正常范围内，转氨酶活性的降低表明机体对蛋白质的利用率提高[23]，当组织受损时，会引起生物膜通透性增加，导致血清 GOT 和 GPT 活性升高[24]。本试验结果显示，与对照组相比，饲粮中添加复合有机酸钙使肉鸡的血

清 GOT 活性降低，间接表明添加复合有机酸钙能提高肉鸡对蛋白质的利用率。血清 AKP 活性是几种同功酶活性的综合值，这些同功酶主要来自于骨骼、肝脏及小肠，来自于肝脏和小肠的 AKP 活性相对稳定，因此，血清 AKP 活性可以间接反映骨骼成骨细胞 AKP 的活性状况及骨骼代谢状况[25]。本试验结果显示，饲粮中添加复合有机酸钙肉鸡的血清 AKP 活性无显著影响。而许丽惠等[7]在饲粮中添加 0.1%的包被酸化剂能显著影响肉鸡血清 AKP 的活性。出现上述不同试验结果可能与酸的种类及饲养环境有关[26]。

机体钙代谢受多种激素的影响，PTH 和 CT 是调解细胞外液中 Ca^{2+}浓度的 2 种主要激素，通过拮抗作用共同维持血钙含量稳定。PTH 由甲状旁腺产生，可减少骨钙转移，促进前破骨细胞和新破骨细胞的生成；CT 可抑制溶骨、破骨细胞活性，促进破骨细胞转变为成骨细胞，具有降低血清钙含量的作用[27]。本试验结果显示，饲粮中添加复合有机酸钙对肉鸡的血清 PTH 和 CT 含量无显著影响；与对照组相比，血清钙和磷含量也无显著差异，这可能与 PTH 和 CT 对钙、磷的调节有关。关于复合有机酸钙对 PTH、CT 的作用机制还需进行深入探讨。

机体内的抗氧化防御体系（抗氧化物质、抗氧化酶）有较为强大的抗氧化损伤能力[7]。T-SOD 和 GSH-Px 是机体内重要的抗氧化酶，能有效清除超氧自由基、过氧化物及减少羟基自由基的形成，MDA 是衡量氧自由基介导的脂质过氧化程度的指标[28]。刘娇等[12]和许丽惠等[7]在饲粮中添加有机酸和酸化剂有利于提高肉鸡的机体抗氧化能力。本试验中，饲粮中添加复合有机酸钙对 21 和 42 日龄肉鸡的血清 T-AOC、T-SOD 和 GSH-Px 活性及 MDA 含量均无显著影响。

4 结 论

饲粮中添加适量的复合有机酸钙可以有效改善肉鸡的生长性能，促进胫骨发育，且添加量以 0.4%较为适宜。

参考文献：

[1] 续倩,何绮霞,吴维煇,等.常用矿物质饲料原料重金属含量现状和分析[J].饲料研究,2015(21):69–72.

[2] 于雅琴,黄艳群,陈文,等.不同色泽石粉的质量分析评估[J].饲料工业,2011,32(23):71–72.

[3] 屠焰.代乳品酸度及调控对哺乳期犊牛生长性能、血气指标和胃肠道发育的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2011.

[4] 王继华,刘伯.甲酸钙、乳酸钙、柠檬酸钙和柠檬酸对断奶仔猪生长性能的影响[J].饲料研究,2015(8):23–27.

[5] 黄丽燕,刘文营,张强,等.蛋壳制备有机酸钙方法的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(2):462–464.

[6] 中国农业部.中华人民共和国农业部公告第 2045 号[J].中国饲料,2014(2):39-42.

[7] 许丽惠,樊倩,张杰,等.包被酸化剂对黄羽肉鸡生长性能、消化道内环境及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):585–592.

[8] 肖芹,沈一茹,张珊,等.复合酸化剂对肉鸡消化道 pH 和消化酶活性的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2527–2533.

[9] PAUL S K,HALDER G,MONDAL M K,et al.Effect of organic acid salt on the performance and gut health of broiler chicken[J].The Journal of Poultry Science,2007,44(4):389–395.

[10] CHOWDHURY R,ISLAM K M S,KHAN M J,et al.Effect of citric acid,avilamycin,and their combination on the performance,tibia ash,and immune status of broilers[J].Poultry Science,2009,88(8):1616–1622.

[11] ADIL S,BANDAY T,BHAT G A,et al.Effect of dietary supplementation of organic acids on performance,intestinal histomorphology,and serum biochemistry of broiler chicken[J].Veterinary Medicine International,2010,2010:479485.

[12] 刘娇,李杰,于艳,等.代谢有机酸对 AA 肉鸡生长和抗氧化性能的影响[J].饲料工业,2014,35(11):39–42.

[13] 郑海鹏,董全.蛋壳制取有机活性钙的研究进展[J].中国食品添加剂,2008(3):87–92.

[14] SULTAN A,ULLAH T,KHAN S,et al.Effect of organic acid supplementation on the performance and ileal microflora of broiler during finishing period[J].Pakistan Journal of Zoology,2015,47(3):635–639.

[15] GUNAL M,YAYLI G,KAYA O,et al.The effects of antibiotic growth promoter,probiotic or organic acid supplementation on performance,intestinal microflora and tissue of broilers[J].International Journal of Poultry Science,2006,5(2):149–155.

[16] HAQUE M N,ISLAM K M S,AKBAR M A,et al.Effect of dietary citric acid,flavomycin and their combination on the performance,tibia ash and immune status of broiler[J].Canadian Journal

of Animal Science,2010,90(1):57–63.

[17] RAHMAN A,SAIMA,PASHA T N,et al.Supplementation of exogenous enzymes and organic acid in broiler diets[J].Eurasian Journal of Veterinary Sciences,2015,31(3):163–169.

[18] GARCÍA V,CATALÁ-GREGORI P,HERNÁNDEZ F,et al.Effect of formic acid and plant extracts on growth,nutrient digestibility,intestine mucosa morphology,and meat yield of broilers[J].The Journal of Applied Poultry Research,2007,16(4):555–562.

[19] SNOW J L,BAKER D H,PARSONS C M.Phytase,citric acid,and 1α-hydroxycholecalciferol improve phytate phosphorus utilization in chicks fed a corn-soybean meal diet[J].Poultry Science,2004,83(7):1187–1192

[20] LIEM A,PESTI G M,EDWARDS H M,Jr.The effect of several organic acids on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chicks[J].Poultry Science,2008,87(4):689–693.

[21] BRENES A,VIVEROS A,ARIJA I,et al.The effect of citric acid and microbial phytase on mineral utilization in broiler chicks[J].Animal Feed Science and Technology,2003,110(1/2/3/4):201–219.

[22] 王德勋.天然有机钙食品医学生物学价值[J].食品与健康,1996(4):33.

[23] 扈添琴,韩兆玉,王群,等.酶制剂和植物甾醇复合物对泌乳奶牛生产性能和血清指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):236–244.

[24] 黄健,鲍坤,张铁涛,等.低蛋白质饲粮添加蛋氨酸和赖氨酸对离乳期梅花鹿生长性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(9):2714-2721.

[25] 李佳.添加植酸酶日粮钙磷水平对生长肥育猪生长性能及钙磷代谢的影响[D].硕士学位论文.沈阳:沈阳农业大学, 2006.

[26] SUIRYANRAYNA M V A N,RAMANA J V.A review of the effects of dietary organic acids fed to swine[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2015,6:45.

[27] 孔路欣,臧素敏,刘培培,等.不同增钙模式对蛋鸡生产性能、胫骨质量和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(4):1186–1192.

[28] 贾聪慧,杨彩梅,曾新福,等.丁酸梭菌对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):908–915.

Effects of Compound Organic Acid Calcium on Growth Performance, Tibia Development and

Serum Indices of Broilers

HE Junna GUO Yang CHEN Nana LIU Bing XIONG Pingwen YU Dongyou*

(*Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed in East China of Ministry of Agriculture, College of Animal Science, Zhejiang University, Hangzhou* 310058, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary compound organic acid calcium on growth performance, tibia development and serum indices of broilers, to evaluate the feeding effects of compound organic acid calcium in broilers. A total of nine hundred 1-day-old healthy Cobb–500 male broilers with similar body weight were randomly divided into three groups with six replicates per group and fifty broilers per replicate. The broilers in control group were fed the corn-soybean meal basal diet, while the others in experimental groups 1 and 2 were fed the basal diet supplemented with 0.4% and 0.8 % compound organic acid calcium (replacement part of inorganic calcium source), respectively. The levels of calcium and phosphorus in each group were the same, and the experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, the average daily gain (ADG) of broilers in groups 1 and 2 was significantly increased and the ratio of feed to gain (F/G) in groups 1 and 2 was significantly decreased at 1 to 21, 22 to 42 and 1 to 42 days of age (P<0.05). 2) Compared with control group, the content of tibia calcium of broilers in groups 1 and 2 was significantly increased at 21 days of age (P<0.05), and the length and calcium content of tibia in groups 1 and 2 were significantly increased at 42 days of age (P<0.05). The ash content of tibia in group 1 was significantly higher than that in control group and group 2 at 42 days of age (P<0.05). 3) The activity of glutamic-oxalacetic transaminase (GOT) in serum of broilers in groups 1 and 2 was significantly lower than that in control group at 42 day of age (P<0.05), and no significant difference was observed between group 1 and group 2 (P>0.05). Dietary compound organic acid calcium had no significant effects on the contents of parathyroid hormone (PTH), calcitonin (CT), calcium and phosphorus and the activities of glutamic-pyruvic transaminase (GPT) and alkaline phosphatase (AKP) in serum of broilers at 21 and 42 days of age (P>0.05). 4) Dietary compound

* Corresponding author, professor, E-mail: dyyu@zju.edu.cn (责任编辑 李慧英)

organic acid calcium had no significant effects on the total antioxidant capacity (T-AOC), the activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) and the content of malondialdehyde (MDA) in serum of broilers at 21 and 42 days of age (P>0.05). In conclusion, dietary compound organic acid calcium can improve the growth performance and promote the tibia development of broilers. The appropriate level of compound organic acid calcium in broiler diet for animal feeding is 0.4%.

Key words: compound organic acid calcium; broilers; growth performance; tibia development; antioxidant capacity